

技術談話室

—研究速報・新提案・
問題提起・紙上討論—

UDC 621.3.032.26:537.213].001.2

円柱四極子レンズの最適構成

上田 正紘 野田松太郎
西尾 健 永見 剛一 黒田 治夫

上田正紘、野田松太郎：正員 愛媛大学工学部電子工学科
西尾 健：准員 日本アイ・ビー・エム株式会社
永見剛一、黒田治夫：正員 大阪府立大学工学部電子工学科
Optimum Construction of the Cylindrical Quadrupole Lens.
By Masahiro UEDA, Matu-Tarow NODA, Regular Members
(Faculty of Engineering, Ehime University, Matsuyama-shi,
790 Japan). Takeshi NISHIO, Associate Member (IBM Japan
Ltd., Fujisawa-shi, 252 Japan). Koichi NAGAMI and Haruo
KURODA, Regular Members (Faculty of Engineering, Uni-
versity of Osaka Prefecture, Sakai-shi, 591 Japan).

論文番号：昭 49-162 [B-46]

四極子レンズの設計に際して最も重要なことの一つは製作容易な電極を用いて直角双曲線状のレンズフィールドを得ることである。すでに各種の電極が考案、実用化されているが、なかでも円柱電極が最適である⁽¹⁾。

本文では円柱四極子レンズ内の二次元電位分布を計算し、有効な開口領域内に理想的な直角双曲線状等電位分布を得るためのレンズ開口半径(a)とレンズ電極半径(R)との最適比を求めている。この種の研究はすでに実験的⁽¹⁾に、さらには解析的⁽²⁾に行われているが、ともにレンズフィールドの第一次高次項成分の係数を零にするための比(R/a)を求めているにすぎない。ここではすべての高次項成分を考慮した。数値解析には境界条件の取扱い易さ、計算精度などを考慮して有限要素法を用いた。

図1に示すように各電極に $\pm V_0$ のレンズ電圧を加えるとレンズ開口面内には X 、 Y 軸を漸近線とするほぼ直角双曲線状の等価電位分布、 $\varphi(x, y)$ 、

$$\frac{\varphi(x, y)}{V_0} = K_0 \cdot \frac{x^2 - y^2}{a^2} + K_1 \cdot \frac{x^6 - 15x^2y^2(x^2 - y^2) - y^6}{a^6} + \sum_{m=2}^{\infty} K_m \cdot f\left(\frac{x^{4m+2-i} \cdot y^i}{a^{4m+2}}\right) \quad (1)$$

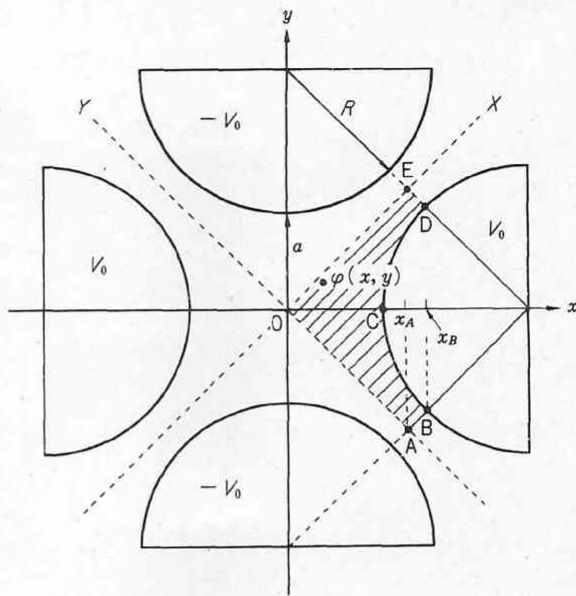


図1 円柱四極子レンズの断面図
Fig.1 - The cross-section of the cylindrical quadrupole lens.

$m=2, 3, \dots$; $i=0, 2, 4, \dots, 4m+2$
が得られる⁽¹⁾。ここに係数 K_0, K_1, \dots, K_m は R/a によって決まる定数である。式(1)において右辺第1項は直角双曲線状等電位分布であり、第2項および $m=2, 3, \dots$ の各項和に対応した第3項はその分布からのずれを表わす高次項成分である。第2項が前述の第一次高次項成分である。電極形状を直角双曲線状に作製すると $K_0=1, K_1=K_2=\dots=K_m=0$ となるが、円柱電極の場合にはこれらの係数は R/a の関数となる。しかし、 $x/a, y/a \ll 1$ の領域においてはこれらの高次項成分は式(1)から明らかなように第1項に比べ無視し得るくらいに小さくなる。このことから係数 K_0 を定めることができる。

$\varphi(x, y)$ を数値計算する場合、境界条件(この場合は対象とした領域を囲む全表面上の電位分布)が必要である。 $\varphi(x, y)$ の対称性を考えここでは図1の斜線領域を対象としているから、必要な電位分布は直線 $\overline{OA}, \overline{AB}, \overline{DE}, \overline{EO}$ および弧 \overline{BCD} 上のそれらである。明らかに $\varphi(\overline{OA})=\varphi(\overline{EO})=0$ 、 $\varphi(\overline{BCD})=V_0$ である。また $\varphi(\overline{DE})$ および $\varphi(\overline{AB})$ は容易に推測されるようにかなりの高精度近似によって、

$$\varphi(\overline{AB}) = \varphi(\overline{DE}) = \frac{x - x_A}{x_B - x_A} \cdot V_0 \quad (2)$$

$$x_A \leq x \leq x_B$$

と表わせる。

数値計算は $R/a=1.00, 1.05, \dots, 1.30$ の七つの場合を対象として行った。有限要素法の計算精度を調べる意味で、一例として表1に $R/a=1.15$ のときの結果を示す。 $\varphi(x, y)/V_0$ の対称性から、この場合の計算精度は7けたまで有効であると思われる。表2は $x=a/10, y=0$ の点で求めた K_0

表1 $R/a=1.15$ のときの電位分布の計算例

x/a	y/a	$\varphi(x, y)/V_0$
0.5	0.4	0.09040047
0.5	0.2	0.21088763
0.5	0.0	0.25099404
0.5	-0.2	0.21088764
0.5	-0.4	0.09040047

表2 R/a と K_0 の関係

R/a	K_0
1.00	0.9940686
1.05	0.9976368
1.10	1.0009608
1.15	1.0040663
1.20	1.0069692
1.25	1.0096804
1.30	1.0122318

の値を示す。直角双曲線状等電位分布からのずれを表わす量 ε は式 (1) より、

$$\varepsilon = K_1 \cdot \frac{x^6 - 15x^2y^2(x^2 - y^2) - y^6}{a^6} + \sum_{m=2}^{\infty} K_m \cdot f\left(\frac{x^{4m+2-i} \cdot y^i}{a^{4m+2}}\right) \quad (3)$$

によって与えられるが、この値は数値計算によって求めた $\varphi(x, y)$ と表2の K_0 の値とから計算される。図2は代表的な2点での ε を表わす。図から $\varepsilon=0$ となる理想的な電位分布は $R/a \approx 1.123$ のときに得られることがわかる。ここでは特定の2点に対して示したが、その他の点についてもほぼ同

様の比が得られた。 $R/a=1.123$ の値は第一次高次項成分の係数 K_1 を0にするようにして求めた従来の実験値 1.15⁽¹⁾ および解析値 1.145⁽²⁾ よりもわずかに小さい。すなわち、わずかではあるが、式(3)の右辺第2項の効果があらわれていることがわかる。

謝辞 最後に、ここでの計算結果は京都大学および九州大学の大型電子計算機を用いて行ったことを付記する。

文 献

- (1) L. Marton: "Advances in electronics and electron physics", p.86, Academic Press, New York (1961).
- (2) G.E. Lee-Whiting and L. Yamazaki: "Semi-analytical calculations for circular quadrupoles", Nucl. Instrum. Methods, 94, p.319 (1971).
(昭和48年8月7日受付)

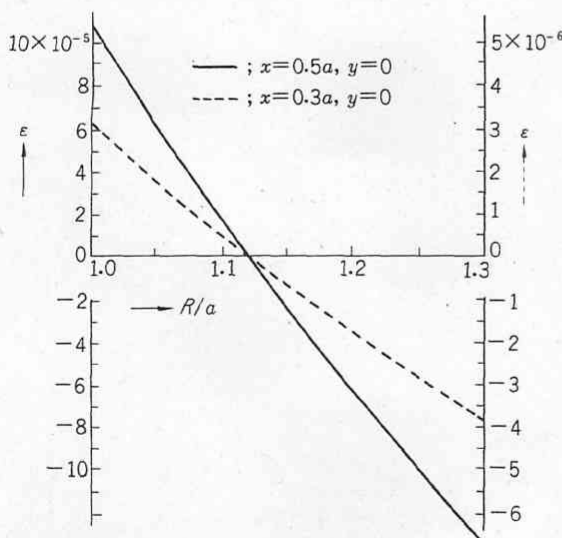
図2 R/a と ε の関係

Fig.2 - Illustration of the relationship between R/a and ε .